

DOI: 10.18372/2310-5461.52.16381

УДК 519.233.2: 621.391.83 (045)

О. В. Соломенцев, д-р техн. наук, професор
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-3214-6384
e-mail: avsolomentsev@ukr.net;

М. Ю. Заліський, д-р техн. наук, доцент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-1535-4384
e-mail: maximus2812@ukr.net;

О. А. Щербина, д-р техн. наук, доцент
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-6058-2749
e-mail: shcherbina_ol@nau.edu.ua;

І. М. Яшанов, канд. техн. наук
ТОВ «BIT GROUP»
orcid.org/0000-0002-9110-2162
e-mail: Ivan_yashanov@ukr.net

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Вступ

Основою для інформаційно-технічного забезпечення аеронавігаційної системи є обладнання, що містить наземні та бортові пристрої, справність яких впливає на безпеку та регулярність польотів повітряних суден (ПС) [1]. Ці пристрої є сукупністю телекомунікаційних та радіоелектронних систем (ТРЕС), які забезпечують користувачів аеронавігаційних послуг інформацією на всіх етапах польоту від зльоту до посадки [2].

Забезпечення надійності та ремонтпридатності ТРЕС є одним із основних завдань системи експлуатації [3; 4].

Система експлуатації (СЕ) містить у своєму складі обладнання, персонал, документацію, ресурси, засоби експлуатації, контрольно-вимірвальну апаратуру та ін. [5]. У СЕ реалізуються такі процеси:

- 1) використання ТРЕС за призначенням;
- 2) технічне обслуговування;
- 3) поточний ремонт;
- 4) перевірка технічного стану;
- 5) продовження ресурсу тощо [6].

Досвід експлуатації показує, що поточний ремонт складається з процедур діагностування, відновлення працездатності та моніторингу параметрів. Процес діагностування визначає послідовність пошуку несправного елемента в схемі ТРЕС [7]. Для здійснення цієї процедури використовується діагностична модель та програма діагностування. Відновлення працездатності включає процедури заміни несправного еlemen-

та, налаштування, вимірювання тощо. Під час моніторингу параметрів приймається рішення щодо працездатності або відмови ТРЕС.

Прийняття рішення під час діагностування пов'язане з наявністю помилок першого та другого роду. Помилка першого роду характеризує подію, коли ТРЕС в працездатному стані вважається несправною. Помилка другого роду характеризує подію, коли ТРЕС у стані відмови вважається працездатною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літератури у сфері діагностування ТРЕС показує, що проблемі визначення статистичних характеристик показників ефективності діагностування приділяється недостатньо уваги. З одного боку, більшість наукових результатів і досвід експлуатації ТРЕС пов'язані з використанням математичних сподівань показників ефективності [8–11]. З іншого боку, показник ефективності через випадковий характер виникнення відмов описується стохастичним процесом.

Такий процес можна охарактеризувати щільністю розподілу ймовірності (ЩРІ), яка містить повну інформацію про нього [12].

Використання ЩРІ може дати можливість розробити більш точні алгоритми оброблення даних у СЕ ТРЕС [13].

Існують такі показники ефективності процесу діагностування:

- 1) тривалість процесу діагностування;
- 2) експлуатаційні витрати;

3) трудомісткість;

4) імовірність правильного діагностування [14].

У процесі діагностування ТРЕС можна виділити *пряму* та *обернену* задачі [15]. Пряма задача пов'язана з визначенням функціональної залежності показника ефективності від початкових даних процедури діагностування [16]. Обернена задача пов'язана з розрахунком оптимальних параметрів засобів вимірювальної техніки для забезпечення заданого рівня ефективності [17].

Актуальні питання діагностування ТРЕС розглядаються також у публікаціях [18–20].

Постановка завдання

Розглянемо математичну постановку задачі. Нехай технічний стан ТРЕС описується сукупністю параметрів його елементів (показників надійності та визначальних параметрів). Телекомунікаційні та радіоелектронні системи можна охарактеризувати вектором станів $S(t)$ і вектором вихідних сигналів $X(t)$. Вектор вихідних сигналів містить всю доступну інформацію, тому цей вектор можна розглядати в термінах інформаційного поля $I(S)$. У процесі діагностування оцінюється сигнальне поле $I(X)$, але це поле містить не всю доступну інформацію. Сигнальне поле збирається і обробляється, після чого приймається рішення щодо технічного стану ТРЕС.

У загальному випадку задачу діагностування можна подати таким чином:

$$\max I(S^*) = \max R \left(W \left(V \left(\begin{matrix} S, O, Q, N_2 \\ \alpha, \beta, P, M, D \end{matrix} \right) + N_1 \right) \right), \quad (1)$$

де $I(S^*)$ — розрахункове інформаційне поле; N_1 та N_2 — адитивний та мультиплікативний шуми відповідно; α та β — імовірності помилок першого та другого роду; Q — вектор, що містить імовірності відмов елементів ТРЕС; O — вектор умов експлуатації; P — вектор можливих програм діагностування; M — вектор параметрів вимірювальної техніки; D — вектор, що характеризує внутрішню структуру ТРЕС; V — оператор опису процесу діагностування; W — оператор розрахунку всіх інформаційних параметрів процесу діагностування (включаючи показник ефективності); R — оператор для оцінки інформаційного поля станів обладнання.

Одним із способів отримання максимальної інформації про інформаційне поле під час діагностування (рівняння (1)) є обчислення щільності розподілу ймовірності для показника ефективності діагностування.

Завдання дослідження

Мета статті — розроблення методики визначення ЩРІ показника ефективності процедури діагностування ТРЕС. Ця методика є запору-

кою одержання максимальної інформації щодо процесу діагностування ТРЕС.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі завдання:

– аналіз існуючих показники ефективності діагностування,

– розроблення покрокової методики визначення ЩРІ для ймовірності правильного діагностування,

– розрахунок ЩРІ для ймовірності правильного діагностування у випадку діагностування антенної системи.

Методика визначення статистичних характеристик ефективності діагностування

Розглянемо покрокову послідовність методики розрахунку статистичних характеристик для ймовірності правильного діагностування.

Початковими даними для розрахунку є:

- 1) структурна або функціональна схема ТРЕС,
- 2) імовірності Q_i відмови i -го елемента ТРЕС,
- 3) імовірності помилок першого і другого роду (α та β).

Нехай у випадку відмови всієї ТРЕС може вийти з ладу тільки один елемент. Вважатимемо, що ТРЕС складається з n елементів.

Для розрахунку ЩРІ для ймовірності правильного діагностування, необхідно:

1. Побудувати програму діагностування для структурної або функціональної схеми ТРЕС.

2. Побудувати матрицю можливих станів ТРЕС.

3. Проаналізувати програму діагностування з урахуванням матриці станів.

4. Знайти можливі значення ймовірностей правильного діагностування у разі відмови i -го елемента.

5. Подати отриманий розподіл у дискретному вигляді. Знайти математичне сподівання та дисперсію для ймовірності правильного діагностування.

У процесі побудови програми діагностування можна використовувати різні методи. Серед цих методів можна виділити такі: інженерний метод, метод половинного поділу, метод імовірності часу, метод інформаційного критерію тощо.

Програма діагностування встановлює послідовність перевірок для визначення несправного елемента в ТРЕС. Елементи ТРЕС представляють у вигляді квадратів з двома можливими вихідними сигналами: логічною «1» у разі справного стану та логічним «0» у разі відмови.

Матриця можливих станів містить $n + 1$ рядки з усіма станами ТРЕС та n стовпці з вихідними сигналами її елементів. Можливі n станів у випадку відмови, коли i -й елемент виходить з ладу,

і один стан у випадку працездатності ТРЕС. Для побудови матриці можливих станів необхідно проаналізувати структурну або функціональну схему ТРЕС. Якщо i -й елемент виходить з ладу, то всі сигнали з його виходу і виходів наступних елементів будуть дорівнювати нулю. Таким чином, будь-який стан ТРЕС можна описати вектором значень вихідного сигналу для кожного елемента, наприклад

$$S_j = \{X_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, X_{i-1}, X_i, \bar{X}_{i+1}, \dots, X_n\}. \quad (2)$$

У рівнянні (2) значення сигналу X відповідає логічній «1» (справний стан), а значення сигналу \bar{X} відповідає логічному «0» (несправний стан).

Після виконання програми діагностування формуються оцінки технічного стану ТРЕС. Оцінки стану представлені у вигляді векторів. Цей вектор не містить усіх вихідних сигналів елементів. Він містить лише ті елементи, сигнали яких перевіряються. Наприклад, якщо у разі відмови п'ятого елемента за програмою діагностування необхідно перевірити другий, п'ятий і сьомий елементи, то оцінка п'ятого стану може бути представлена так

$$S_5^* = \{X_2^*, \bar{X}_5^*, \bar{X}_7^*\}. \quad (3)$$

За отриманими оцінками станів можна розрахувати ймовірність правильного діагностування

$$P_{cd} = (1 - \alpha)^{n_1} (1 - \beta)^{n_2}, \quad (4)$$

де n_1 — кількість справних елементів у векторі оцінок станів; n_2 — кількість несправних елементів у векторі оцінок станів.

Наприклад, для рівняння (3) ймовірність (4) можна представити так

$$P_{cd5} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2. \quad (5)$$

Отримане рівняння (5), як і попередня формула (4), залежить від ймовірностей помилок першого та другого роду.

Для кожного стану у векторі оцінки стану розраховуються ймовірності правильного діагностування.

Такі значення отриманих ймовірностей умовні, оскільки залежать від номера елемента, який відмовив.

Таким чином, для всіх значень ймовірностей правильного діагностування можна отримати дискретний ряд розподілу (табл. 1).

На основі табл. 1 можна розрахувати математичне сподівання та дисперсію

$$E(P_{cd}) = \sum_{i=1}^n P_{cdi} Q_i. \quad (6)$$

$$d(P_{cd}) = \sum_{i=1}^n P_{cdi}^2 Q_i - E^2(P_{cd}). \quad (7)$$

Таблиця 1

Ряд розподілу для ймовірності правильного діагностування

Ймовірність правильного діагностування	P_{cd1}	P_{cd2}	P_{cd3}	...	P_{cdn}
Ймовірність відмови i -го елемента	Q_1	Q_2	Q_3	...	Q_n

Математичне сподівання (6) збігається з умовною ймовірністю правильного діагностування. Таке твердження можливе згідно з формули повної ймовірності.

Розрахунок ряду розподілу для ймовірності правильного діагностування антенної системи

Розглянемо приклад розрахунку ряду розподілу для ймовірності правильного діагностування.

Об'єктом діагностування була обрана вимірювальна антенна система. Структурна схема антенної системи наведена на рис. 1.

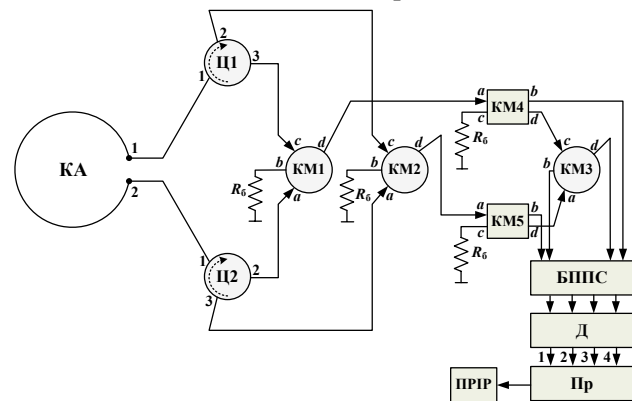


Рис. 1. Структурна схема антенної системи

На рис. 1 представлена кільцева антена для радіомоніторингу. Тут зроблені такі позначення: КА — кільцева антена, Ц1 і Ц2 — циркулятори, R_6 — баластні резистори, KM1, KM2 і KM3 м кільцеві мости, KM4 і KM5 — квадратні мости, БППС — блок перетворення та посилення сигналу, Д — секція детектора, Пр — процесор, ПРП — пристрій реєстрації та індикації результатів.

Діагностична модель кільцевої антени для радіомоніторингу (рис. 1) представлена на рис. 2, а програма діагностування на основі інженерного методу — на рис. 3.

Побудуємо матрицю можливих станів кільцевої антени.

Таку матрицю можна подати у вигляді табл. 2. Стани $S_1 - S_{12}$ у табл. 2 відповідають відмовам i -го елемента. Стан S_{13} є справним станом кільцевої антени.

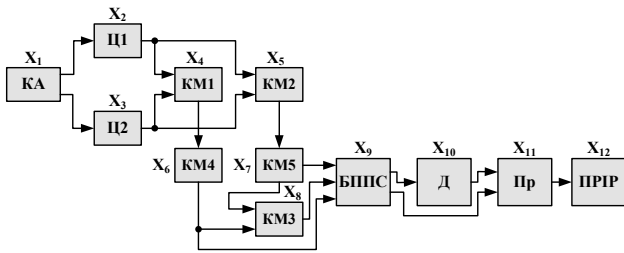


Рис. 2. Діагностична модель кільцевої антени

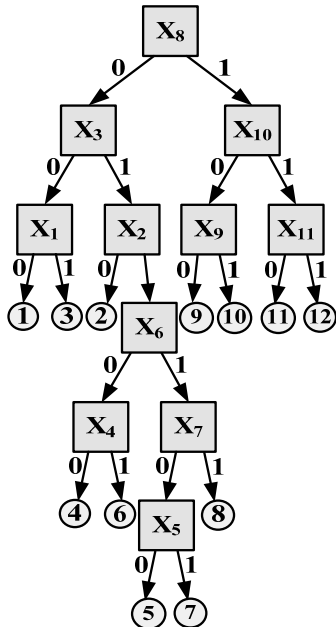


Рис. 3. Програма діагностування кільцевої антени на основі інженерного методу

Таблиця 2

Матриця можливих станів кільцевої антени

Стан	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₂	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₃	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₄	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
S ₅	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
S ₆	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
S ₇	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
S ₈	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
S ₉	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S ₁₀	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
S ₁₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
S ₁₂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
S ₁₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Отримані стани можна представити у вигляді векторів:

$$S_1^* = \{\bar{X}_1^*, \bar{X}_3^*, \bar{X}_8^*\}; S_2^* = \{X_2^*, X_3^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_3^* = \{X_1^*, \bar{X}_3^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_4^* = \{X_2^*, X_3^*, \bar{X}_4^*, \bar{X}_6^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_5^* = \{X_2^*, X_3^*, \bar{X}_5^*, X_6^*, \bar{X}_7^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_6^* = \{X_2^*, X_3^*, X_4^*, \bar{X}_6^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_7^* = \{X_2^*, X_3^*, X_5^*, X_6^*, \bar{X}_7^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_8^* = \{X_2^*, X_3^*, X_6^*, X_7^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_9^* = \{X_8^*, \bar{X}_9^*, \bar{X}_{10}^*\}; S_{10}^* = \{X_8^*, X_9^*, \bar{X}_{10}^*\};$$

$$S_{11}^* = \{X_8^*, X_{10}^*, \bar{X}_{11}^*\}; S_{12}^* = \{X_8^*, X_{10}^*, X_{11}^*\}.$$

За цими рівняннями розраховуємо ймовірності правильного діагностування для випадків можливої відмови *i*-го елемента антенної системи:

$$P_{cd1} = (1 - \beta)^3; P_{cd2} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2;$$

$$P_{cd3} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2; P_{cd4} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta)^3;$$

$$P_{cd5} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta)^3; P_{cd6} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta)^2;$$

$$P_{cd7} = (1 - \alpha)^4(1 - \beta)^2; P_{cd8} = (1 - \alpha)^4(1 - \beta);$$

$$P_{cd9} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2; P_{cd10} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta);$$

$$P_{cd11} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta) 4; P_{cd12} = (1 - \alpha)^3.$$

Аналіз отриманих рівнянь показав, що $P_{cd2} = P_{cd3} = P_{cd9}$ і $P_{cd10} = P_{cd11}$. Це означає, що ймовірність правильного діагностування може дорівнювати лише дев'яти різним дискретним значенням.

Отже, для цієї програми діагностування ряд розподілу показника ефективності може бути представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Ряд розподілу показника ефективності

Ймовірність правильного діагностування	Ймовірність відмови <i>i</i> -го елемента
$(1 - \beta)^3$	Q_1
$(1 - \alpha)(1 - \beta)^2$	$Q_2 + Q_3 + Q_9$
$(1 - \alpha)^2(1 - \beta)^3$	Q_4
$(1 - \alpha)^3(1 - \beta)^3$	Q_5
$(1 - \alpha)^3(1 - \beta)^2$	Q_6
$(1 - \alpha)^4(1 - \beta)^2$	Q_7
$(1 - \alpha)^4(1 - \beta)$	Q_8
$(1 - \alpha)^2(1 - \beta)$	$Q_{10} + Q_{11}$
$(1 - \alpha)^3$	Q_{12}

Математичне сподівання ймовірності правильного діагностування

$$E(P_{cd}) = (1 - \beta)^3 Q_1 + (1 - \alpha)(1 - \beta)^2 (Q_2 + Q_3 + Q_9) + (1 - \alpha)^2(1 - \beta)^3 Q_4 + (1 - \alpha)^3(1 - \beta)^3 Q_5 + (1 - \alpha)^3(1 - \beta)^2 Q_6 + (1 - \alpha)^4(1 - \beta)^2 Q_7 +$$

$$+ (1 - \alpha)^4 (1 - \beta) Q_8 + (1 - \alpha)^2 (1 - \beta) (Q_{10} + Q_{11}) + (1 - \alpha)^3 Q_{12}. \quad (8)$$

Слід зазначити, що на основі табл. 2 можна побудувати оптимальну програму діагностування. Такий підхід відповідає методу інформаційного критерію. Оптимальна програма діагностування показана на рис. 4.

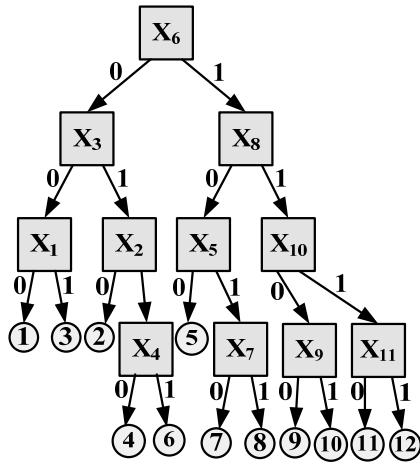


Рис. 4. Програма діагностування кільцевої антени на основі інформаційного критерію

Проведемо аналогічні розрахунки для програми діагностування на основі інформаційного критерію. Для цієї програми були отримані такі оцінки стану:

$$S_1^* = \{\bar{X}_1^*, \bar{X}_3^*, \bar{X}_6^*\}; \quad S_2^* = \{\bar{X}_2^*, X_3^*, \bar{X}_6^*\};$$

$$S_3^* = \{X_1^*, \bar{X}_3^*, \bar{X}_6^*\}; \quad S_4^* = \{X_2^*, X_3^*, \bar{X}_4^*, \bar{X}_6^*\};$$

$$S_5^* = \{\bar{X}_5^*, X_6^*, \bar{X}_8^*\}; \quad S_6^* = \{X_2^*, X_3^*, X_4^*, \bar{X}_6^*\};$$

$$S_7^* = \{X_5^*, X_6^*, \bar{X}_7^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_8^* = \{X_5^*, X_6^*, X_7^*, \bar{X}_8^*\};$$

$$S_9^* = \{X_6^*, X_8^*, \bar{X}_9^*, \bar{X}_{10}^*\};$$

$$S_{10}^* = \{X_6^*, X_8^*, X_9^*, \bar{X}_{10}^*\};$$

$$S_{11}^* = \{X_6^*, X_8^*, X_{10}^*, \bar{X}_{11}^*\};$$

$$S_{12}^* = \{X_6^*, X_8^*, X_{10}^*, X_{11}^*\}.$$

За цими рівняннями розраховуємо ймовірності правильного діагностування для випадків можливої відмови i -го елемента антенної системи:

$$P_{cd1} = (1 - \beta)^3; \quad P_{cd2} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2;$$

$$P_{cd3} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2; \quad P_{cd4} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta)^2;$$

$$P_{cd5} = (1 - \alpha)(1 - \beta)^2; \quad P_{cd6} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta);$$

$$P_{cd7} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta)^2; \quad P_{cd8} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta);$$

$$P_{cd9} = (1 - \alpha)^2(1 - \beta)^2; \quad P_{cd10} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta);$$

$$P_{cd11} = (1 - \alpha)^3(1 - \beta); \quad P_{cd12} = (1 - \alpha)^4.$$

Аналіз отриманих рівнянь показав, що $P_{cd2} = P_{cd3} = P_{cd5}$, $P_{cd4} = P_{cd7} = P_{cd9}$ і $P_{cd6} = P_{cd8} = P_{cd10} = P_{cd11}$. Це означає, що ймовірність правильного діагностування дорівнює лише п'яти різним дискретним значенням.

Отже, для цієї програми діагностування ряд розподілу показника ефективності можна представити в табл. 4.

Таблиця 4

Ряд розподілу показника ефективності

Імовірність правильного діагностування	Імовірність відмови i -го елемента
$(1 - \beta)^3$	Q_1
$(1 - \alpha)(1 - \beta)^2$	$Q_2 + Q_3 + Q_5$
$(1 - \alpha)^2(1 - \beta)^2$	$Q_4 + Q_7 + Q_9$
$(1 - \alpha)^3(1 - \beta)$	$Q_6 + Q_8 + Q_{10} + Q_{11}$
$(1 - \alpha)^4$	Q_{12}

Математичне сподівання ймовірності правильного діагностування

$$E(P_{cd}) = (1 - \beta)^3 Q_1 + (1 - \alpha)(1 - \beta)^2 (Q_2 + Q_3 + Q_5) + (1 - \alpha)^2 (1 - \beta)^2 (Q_4 + Q_7 + Q_9) + (1 - \alpha)^3 (1 - \beta) \times (Q_6 + Q_8 + Q_{10} + Q_{11}) + (1 - \alpha)^4 Q_{12}. \quad (9)$$

Порівняльний аналіз рядів розподілу, представлених у табл. 3 і 4, дає можливість зробити висновок, що програма діагностування на основі методу інформаційного критерію (рис. 4) забезпечує менший розкид значень ймовірності правильного діагностування.

Залежності математичних сподівань відповідно до (8) і (9) від різних значень ймовірностей помилок першого та другого роду наведені на рис. 5.

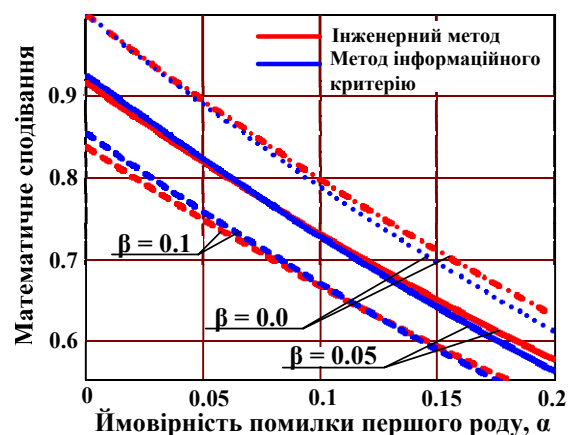


Рис. 5. Залежності математичного сподівання від ймовірностей помилок першого та другого роду

Залежності дисперсії для двох варіантів програми діагностування від різних значень імовірностей помилок першого та другого роду показані на рис. 6.

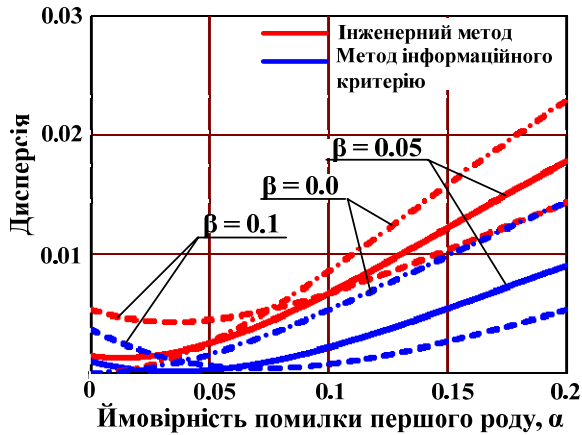


Рис. 6. Залежності дисперсії від ймовірностей помилок першого та другого роду

Графіки на рис. 5 та 6 отримано для початкових даних: $Q_1 = 0.01$, $Q_2 = Q_3 = 0.05$, $Q_4 = Q_5 = Q_{11} = 0.07$, $Q_6 = 0.06$, $Q_7 = 0.1$, $Q_8 = Q_{12} = 0.08$, $Q_9 = 0.24$, $Q_{10} = 0.12$.

Графіки на рис. 5 мають приблизно однакову тенденцію до зменшення. Дисперсія ймовірності правильного діагностування у випадку методу інформаційного критерію значно менша, ніж відповідна дисперсія для інженерного методу (згідно з рис. 6). Проведене дослідження доводить необхідність використання статистичних характеристик показника ефективності для процесу діагностування.

Висновки

У статті розглядається проблема обґрунтування доцільності використання статистичних характеристик для показника ефективності процесу діагностування ТРЕС.

На основі огляду наукових результатів в якості показника ефективності було обрано ймовірність правильного діагностування. Цей показник має випадковий характер і може бути описаний дискретним рядом розподілу.

У статті представлено покрокову послідовність, що розкриває методику розрахунку статистичних характеристик для ймовірності правильного діагностування. Цей метод детально розглянуто на прикладі діагностування кільцевої антени для радіомоніторингу. Аналіз показав, що вигляд ряд розподілу значною мірою залежить від методу побудови програми діагностування.

Результати дослідження можуть бути використані в процесі проектування та вдосконалення системи експлуатації телекомунікаційних та радіоелектронних систем під час процесів діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kharchenko V., Konin V., Olevinska T. Aircraft navigation efficiency improving during landing using satellite navigation system. *Proceedings of the National Aviation University*. 2017. Vol. 4. Pp. 8–17.
- [2] Грищенко Ю. В. Оцінка якості техніки пілотування екіпажу в авіакомпанії. *Наукоємні технології*. 2020. Вип. 2(46). С. 245–263.
- [3] Соломенцев О. В., Мелкумян В. Г., Заліський М. Ю. Системи експлуатації радіоелектронних засобів. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. № 3. С. 149–154.
- [4] Заліський М. Ю., Соломенцев О. В., Зуєв О. В., Петрова Ю. В. Аналіз процесів погіршення технічного стану складних телекомунікаційних та радіоелектронних систем. *Наукоємні технології*. 2021. № 3 (Т. 51). С. 229–236.
- [5] Zaliskyi M. Yu. Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. *Electronics and Control Systems*. 2015. № 3 (45). Pp. 18–22.
- [6] Rausand M. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 458 p.
- [7] Абрамов О. В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения. *Информатика и системы управления*. 2011. № 2 (28). С. 4–15.
- [8] Taranenko A.G., Gabrousenko Ye.I., Holubnychyi A.G., Slipukhina I.A. Estimation of redundant radionavigation system reliability. *Methods and Systems of Navigation and Motion Control*. Proceedings of the IEEE 5th International Conference (October 16-18, 2018. Kyiv, Ukraine). Pp. 28–31.
- [9] Goncharenko A. A multi-optional hybrid functions entropy as a tool for transportation means repair optimal periodicity determination. *Aviation*. 2018. Vol. 22 (2). Pp. 60–66.
- [10] Левин Б. Р. Теория надежности радиотехнических систем. М.: Радио, 1978. 264 с.
- [11] Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. М.: Высш. школа, 1982. 231 с.
- [12] Химмельблау Д., Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.
- [13] Solomentsev O. V., Zaliskyi M. Yu., Kozhokhina O. V., Herasymenko T. S. Data Processing During Condition Based Maintenance of Radio Electronic Equipment. *Electronics and control systems*. 2017. № 4. Pp. 11–17.
- [14] Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности/пер. с англ. под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Радио, 1969. 488 с.
- [15] Новиков В. С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: Транспорт, 1987. 261 с.

- [16] Мелкумян В. Г. Технологічні системи обслуговуючого типу. Елементи теорії проектування та прикладні проблеми експлуатації. К.: НАУ, 2003. 171 с.
- [17] Мозгалевский А. В., Хаскаров Д. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). М.: Высш. школа, 1975. 207 с.
- [18] Ксенз С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1989. 248 с.
- [19] Полупан А.В. Диагностирование технических объектов. М.: Машиностроение, 2006. 294 с.
- [20] Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И. Диагностика технических устройств. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 615 с.

Соломенцев О. В., Заліський М. Ю., Щербина О. А., Яшанов І. М.
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕФЕКТИВНОСТІ
ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена питанням обґрунтування доцільності застосування статистичних характеристик для показника ефективності процесу діагностування телекомунікаційних та радіоелектронних систем. Відомо, що використання телекомунікаційних та радіоелектронних систем за призначенням у промисловій діяльності з кожним роком має тенденцію до швидкого зростання. Тому неминучою вимогою до цих систем є підвищення рівня показників надійності та ремонтпридатності. Забезпечення надійності та ремонтпридатності телекомунікаційних та радіоелектронних систем є одним із основних завдань системи експлуатації. Система експлуатації містить у своєму складі обладнання, персонал, документацію, ресурси, засоби експлуатації, контрольно-вимірювальну апаратуру. У системі експлуатації реалізуються процеси використання за призначенням, технічного обслуговування, поточного ремонту, продовження ресурсу. Досвід експлуатації показує, що поточний ремонт складається з процедур діагностування, відновлення працездатності та моніторингу параметрів. Аналіз літератури у сфері діагностування телекомунікаційних та радіоелектронних систем показує, що проблемі визначення статистичних характеристик показників ефективності діагностування приділяється недостатньо уваги. При цьому більшість наукових результатів пов'язані з використанням тільки математичних сподівань показників ефективності. Однак показник ефективності є стохастичним процесом, оскільки виникнення відмов носить випадковий характер. Такий процес можна охарактеризувати щільністю розподілу ймовірності, яка містить повну інформацію про нього. Використання щільності розподілу ймовірності може дати можливість розробити більш точні алгоритми оброблення даних у системах експлуатації телекомунікаційних та радіоелектронних систем. В якості показника ефективності процесу діагностування обрано ймовірність правильного діагностування, оскільки в процесі діагностування можливі помилки першого та другого роду. Для цього показника розроблено покрокову методику визначення його статистичних характеристик. Унаслідок її реалізації може бути отриманий дискретний ряд розподілу для ймовірності правильного діагностування. Методика пояснюється на конкретному прикладі. При цьому як об'єкт діагностування обрано антенну систему для радіомоніторингу. Для неї побудовано діагностичну модель та два варіанти програм діагностування на основі інженерного методу та методу інформаційного параметру. У результаті розраховані два дискретні ряди розподілу для ймовірності правильного діагностування. Порівняльний аналіз також був доповнений розрахунком математичних сподівань ймовірності правильного діагностування та дисперсій для різних початкових даних. Результати дослідження можуть бути використані в процесі проектування та вдосконалення системи експлуатації телекомунікаційних та радіоелектронних систем під час процесів діагностування.

Ключові слова: система експлуатації, діагностування, ймовірність правильного діагностування, телекомунікаційні та радіоелектронні системи

Solomentsev O. V., Zaliskyi M. Yu., Shcherbyna O. A., Yashanov I. M.
METHOD OF DETERMINATION OF STATISTICAL CHARACTERISTICS FOR
DIAGNOSTICS PROCESS EFFICIENCY FOR TELECOMMUNICATION AND
RADIOELECTRONIC SYSTEMS

The article concentrates on the issues of substantiation of statistical characteristics usage necessity for the efficiency index of diagnostics process for telecommunication and radioelectronic systems. It is known that utilization of telecommunication and radioelectronic systems for industrial use has a tendency to grow rapidly every year. Therefore, an inevitable requirement for these systems is to increase the level of reliability and maintainability. Ensuring the reliability and maintainability of telecommunication and radioelectronic systems is one of the main tasks of the operation system. The operation system includes equipment, personnel, documentation, resources, means of operation, control and measuring equipment. The operation system implements the processes of intended use, maintenance, repair, continuation of life service. Operational experience shows that current repairs consist of procedures for diagnostics, restoring serviceability and parameters monitoring. Analysis of the literature in the field of diagnostics of telecommunication and radioelectronic systems shows that insufficient attention is paid to the problem of determining the statistical characteristics of diagnostics efficiency indicators.

However, most scientific results are related to the use of only mathematical expectations of efficiency indicators. Nevertheless, the efficiency indicator is a stochastic process, because the occurrence of failures is random. This process can be characterized by the distribution function, which contains complete information about it. The use of distribution function can make it possible to develop more accurate data processing algorithms in the operation systems for telecommunication and radioelectronic equipment. The probability of correct diagnostics is chosen as an indicator of the efficiency of the diagnostics process, because in the process of diagnostics errors of the first and second kind are possible. A step-by-step method for determining statistical characteristics has been developed for this efficiency indicator. As a result of its implementation, a probability mass function can be obtained for the probability of correct diagnostics. The methodology is explained by a specific example. The antenna system for radiomonitoring was chosen as the object of diagnostics. A diagnostic model and two variants of diagnostic programs based on the engineering method and the method of information parameter are built for it. As a result, two probability mass functions are calculated for the probability of correct diagnostics. Comparative analysis was also supplemented by the calculation of mathematical expectations and variances of the probability of correct diagnostics for different initial data. The results of the research can be used in the process of designing and improving the operation system for telecommunication and radioelectronic equipment during diagnostics process.

Keywords: operation system, diagnostics, probability of correct diagnostics, telecommunication and radioelectronic systems.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2021 р.
Прийнято до друку 09.12.2021 р.